

国土技術政策総合研究所講演会

航空需要予測の精度向上と課題

- ・現行航空需要予測の手法
- ・予測手法の精度向上に係る課題
- ・事業者行動原理を考慮した手法の試み

国土技術政策総合研究所

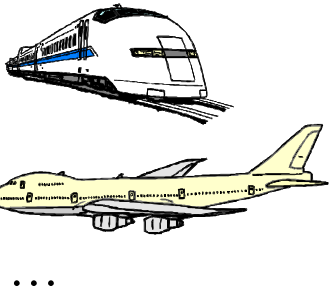
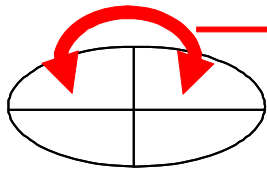
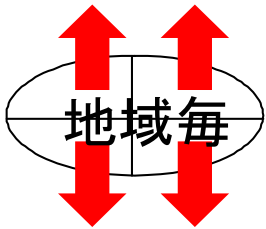
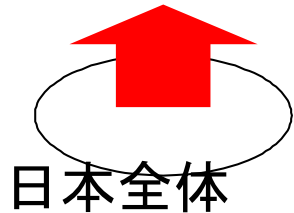
空港研究部

長谷川 浩

需要予測の要件

項目		主な内容	国内旅客	国際旅客	国内貨物	国際貨物	
社会経済の変化を適切に反映できること	①人口変化	将来人口は2005年をピークに減少 →全国発生、地域別発生モデルにおいて総人口等を変数とする	○	○			
	②経済成長	経済成長と需要の相関性高い →発生モデルにおいてGDPを変数とする	国内GDP	○	○	○	○
			海外GDP		○		○
③為替変動	国際旅客、国際貨物需要に影響 →国際旅客、貨物の全国モデルの変数とする			○		○	
各種交通サービス水準の違いや変化を反映できること	④交通機関	新設空港、新幹線、道路ネットワークの影響 →将来計画を踏まえ設定	○	○		○	
	⑤空港アクセス	成田空港、仙台空港へのアクセス鉄道の影響 →将来計画を踏まえ設定	○	○			
航空行政を巡る変化を反映できること	⑥首都圏空港の容量緩和	羽田再拡張、成田北側延伸の影響 →容量緩和することで設定	○	○		○	
	⑦空港別規制	空港別の利用制限 →伊丹のジェット便枠、大型機制限等を反映	○	○		○	
旅行者、貨物の属性別の需要が予測できること	⑧国籍	日本人、外国人の需要動向の相違 →日本人と外国人に分けてモデルを作成		○			
	⑨旅行目的	観光とビジネスの需要動向の相違 →目的別にモデルを作成	○	○			
	⑩発着地域	中国、東南アジアの高成長の影響 →海外方面別に需要を算定		○		○	

航空需要予測の全体の流れ



全国の
生成交通量



地域別の
発生交通量
(①発生集中量)

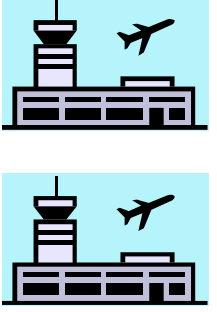


地域間の
交通量
(②分布交通)



交通機関別
交通量
(③機関選択)

航空経路別(空港別)
の需要
(④航空経路選択)

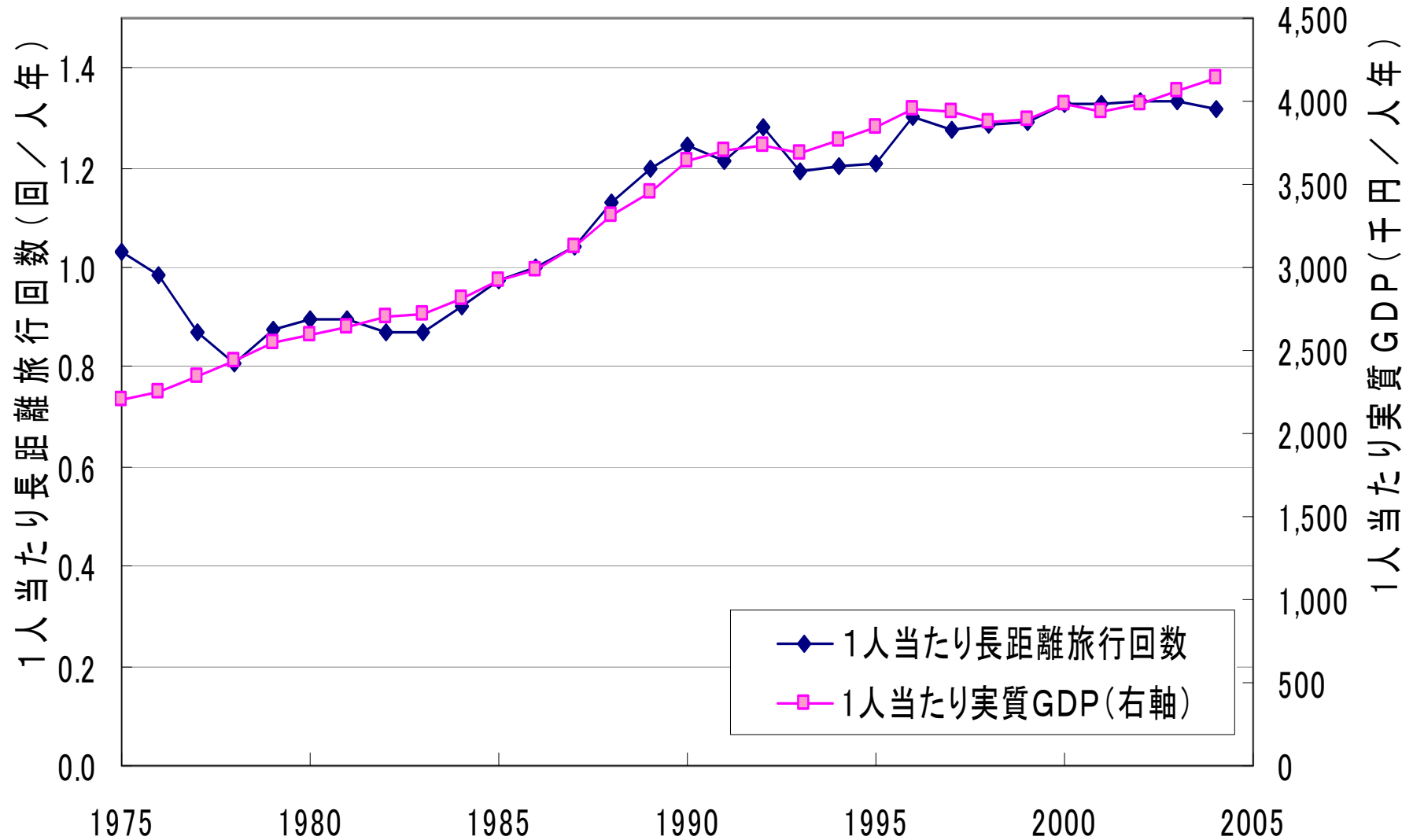


空港アクセス機関別
需要
(アクセス機関選択)

鉄道
自家用車
...

全国の生成(発生)交通量

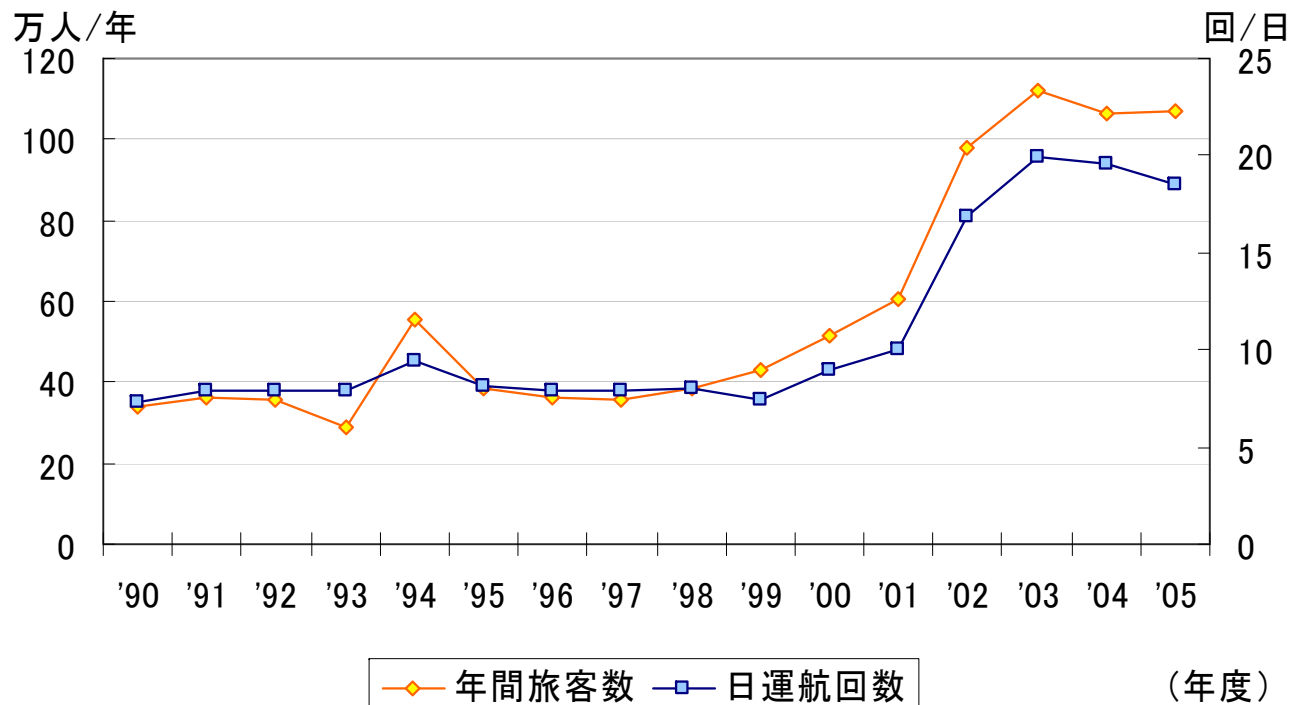
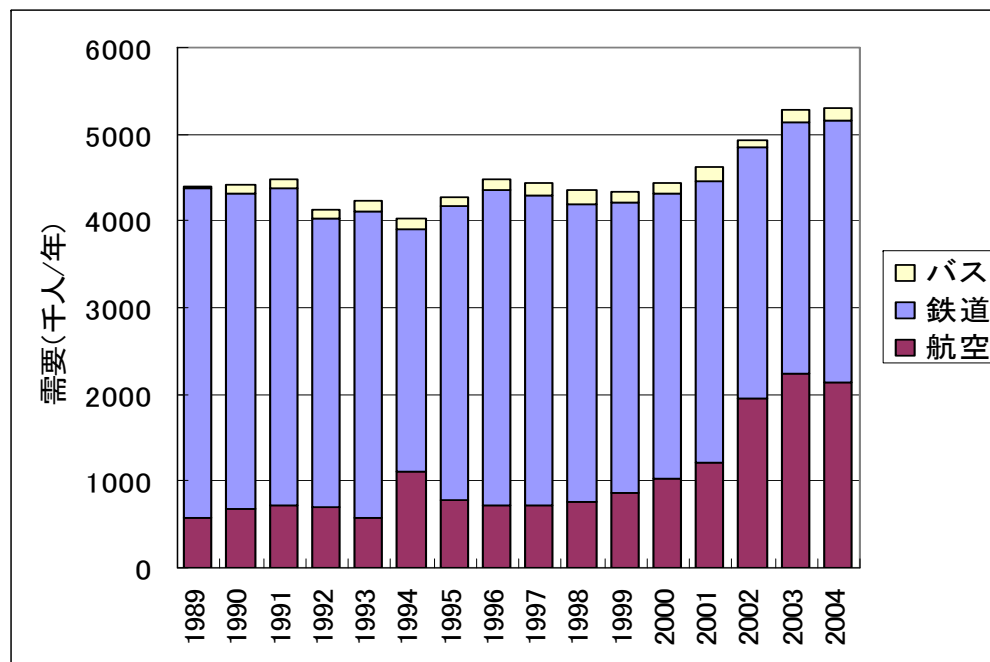
一人当たり長距離旅客数と一人当たり実質GDPの比較



東京－岡山 間の増便の影響

日運航回数の増加により
年間旅客数も増大

利便性の向上による誘発効果



全国生成量の予測式

$$Q_t = POP_t \cdot \left[\exp(\alpha) \cdot \left(\prod_k X_{kt}^{\beta_k} \right) \cdot \exp(\gamma \cdot ACC_t) \cdot \left(\prod_m \exp(\delta_m \cdot DMY_{mt}) \right) \right]$$

社会経済指標
アクセシビリティ指標

全国夜間人口

$$ACC_t = \frac{\sum_l \sum_i (Q_{li0} \cdot ACC_{lit})}{\sum_l \sum_i Q_{li0}}$$

Q_t : t 年の旅客地域流動ベースの全目的生成量(千人/年)

Q_{li0} : 2005年における旅行目的 毎の居住地ゾーン の純流動ベースの発生量
(千人/年)

POP_t : t 年の全国の夜間人口(千人)

X_{kt} : t 年の社会経済指標 k

ACC_t : t 年の全国のアクセシビリティ指標。旅行目的 毎の居住地ゾーン のアクセシビリティ指標 を、2005年の旅行目的別発生量 で重みづけ平均したもの。

ACC_{lit} : t 年における居住地ゾーン i 旅行目的 l のアクセシビリティ指標。全国発生モデルのアクセシビリティ指標算定のために、旅行先選択モデルから計算されるログサム変数

DMY_{mt} : t 年のダミー変数

$\alpha, \beta_k, \gamma, \delta_m$: パラメータ

将来需要予測における主な前提条件 (1)

項目	設定内容						
使用モデル	2005年モデル（以下のデータからパラメータを推定） 需要データ：[国内]純流動調査(2005年)[国際旅客、国際貨物]動態調査(2005年) 社会経済データ：2005年実績 交通サービス水準：[航空] [鉄道、道路]2005年10月現在						
社会経済フレーム	日本GDP成長率	[全国値]政府見通し(右表)等より [都道府県別値]国土計画局推計値	2006～2012	2013～2020	2021～2027		
			1.7%	2%程度	1%台半ば		
	海外GDP成長率	「WORLD ECONOMIC OUTLOOK」 (2006年9月,IMF) 「世界経済の展望2007」 (2006年12月,世界銀行) 「世界経済の潮流2004秋」 (2004年11月,内閣府)より設定		2006	2007	2008	2009～2027
			アジア	11.0%	7.4%	6.7%	4.3%
		アジア以外	3.4%	3.8%	2.5%	2.2%	
人口	[全国値]国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口」 (2006年12月)の中位推計 [都道府県別値]国土計画局推計値						
為替	IMF短期見通し(2007年値)で一定 [ドル]115円/ドル [ユーロ]127円/ユーロ						

将来需要予測における主な前提条件 (2)

<p>交通 ネットワーク</p>	<p>[国内航空] 2007年4月現在(+その時点での計画路線)の航空路線をベースとして 2012年当初までに: 静岡、百里の供用</p> <p>[国際航空] 2007年4月現在(+その時点での計画路線)の航空路線をベースとして 2012年当初までに: 静岡(ソウル)乗入</p> <p>[鉄道] 2005年10月現在の鉄道路線をベースとして 2012年当初までに: 八戸～新青森、博多～新八代(新幹線)の供用 2017年当初までに: 新青森～新函館、長野～金沢(新幹線)の供用</p> <p>[道路] 2005年10月現在の道路ネットワークをベースとして 高規格幹線道路は2012、2017年に整備予定に応じ供用と設定</p>
<p>時間・運賃</p>	<p>2005年10月現在で設定(神戸、新北九州空港は2006年10月時点)</p>
<p>便数制約</p>	<p>[羽田・成田] 羽田国内37.7万回/年、成田国内2万回/年、 国際(成田+羽田)24.5万回/年</p> <p>[伊丹] ジェット200回/日、プロペラ170回/日 [神戸] 60回/日</p>

ロジットモデルを使った交通機関交通量の推計

まず、各交通機関の魅力度を示す指標として、効用関数を、

$$U=V+\varepsilon$$

のとおり表す

ここで V は計測可能ないくつかの説明変数から確定的に定まる確定効用

ε はその他の計測できない要因により確率的に変動する確率効用

この確率効用の確率分布として、正規分布に似たガンベル分布(二重指数分布)を仮定することにより、求めたい交通機関の選択確率 P_i は次式のとおりに求めることができる

$$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\exp(V_i) + \exp(V_j)}$$

2項ロジットモデル

$$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\sum_{j=1}^n \exp(V_j)}$$

多項ロジットモデル

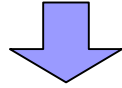
各交通機関の選択確率を求めるためには、確定効用関数を各交通機関別に求めておく必要がある。簡単なケースとして、確定効用関数の説明変数を運賃 C_i と所要時間 T_i の2つとすれば、交通機関の確定効用関数は次式のとおりに線形の関数として定式化することができる

$$V_i = a + b \cdot C_i + c \cdot T_i$$

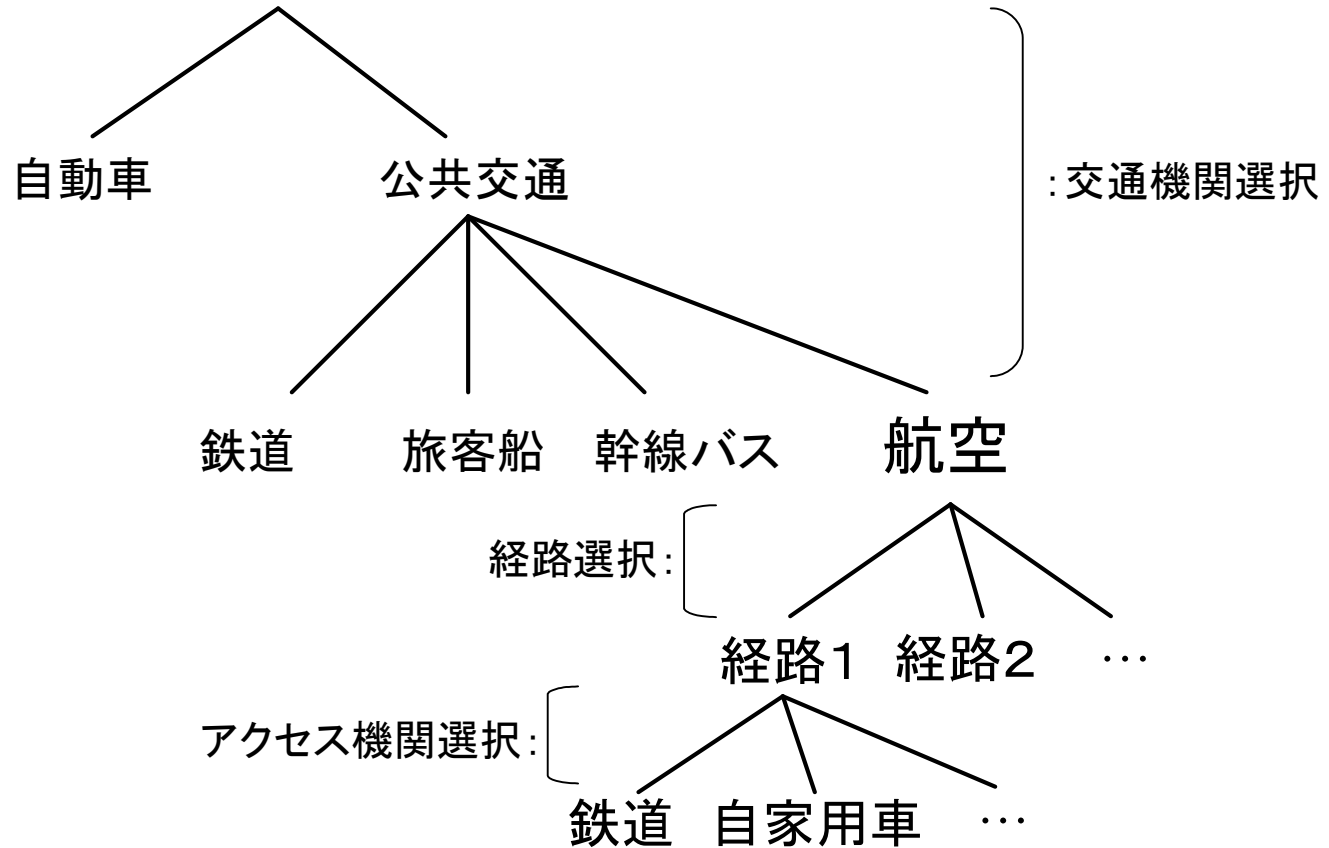
ここで、 a 、 b 、 c はパラメータであり、既存の選択結果データ(幹線旅客純流動調査や航空旅客動態調査等)から最尤推定法を用いて推計することができる。パラメータが決まれば、OD毎に各交通機関の運賃と所要時間は計測可能であるから、確定効用関数が全ての交通機関について決まり各交通機関の選択確率を求めることができる

航空旅客需要予測における階層ロジットモデル

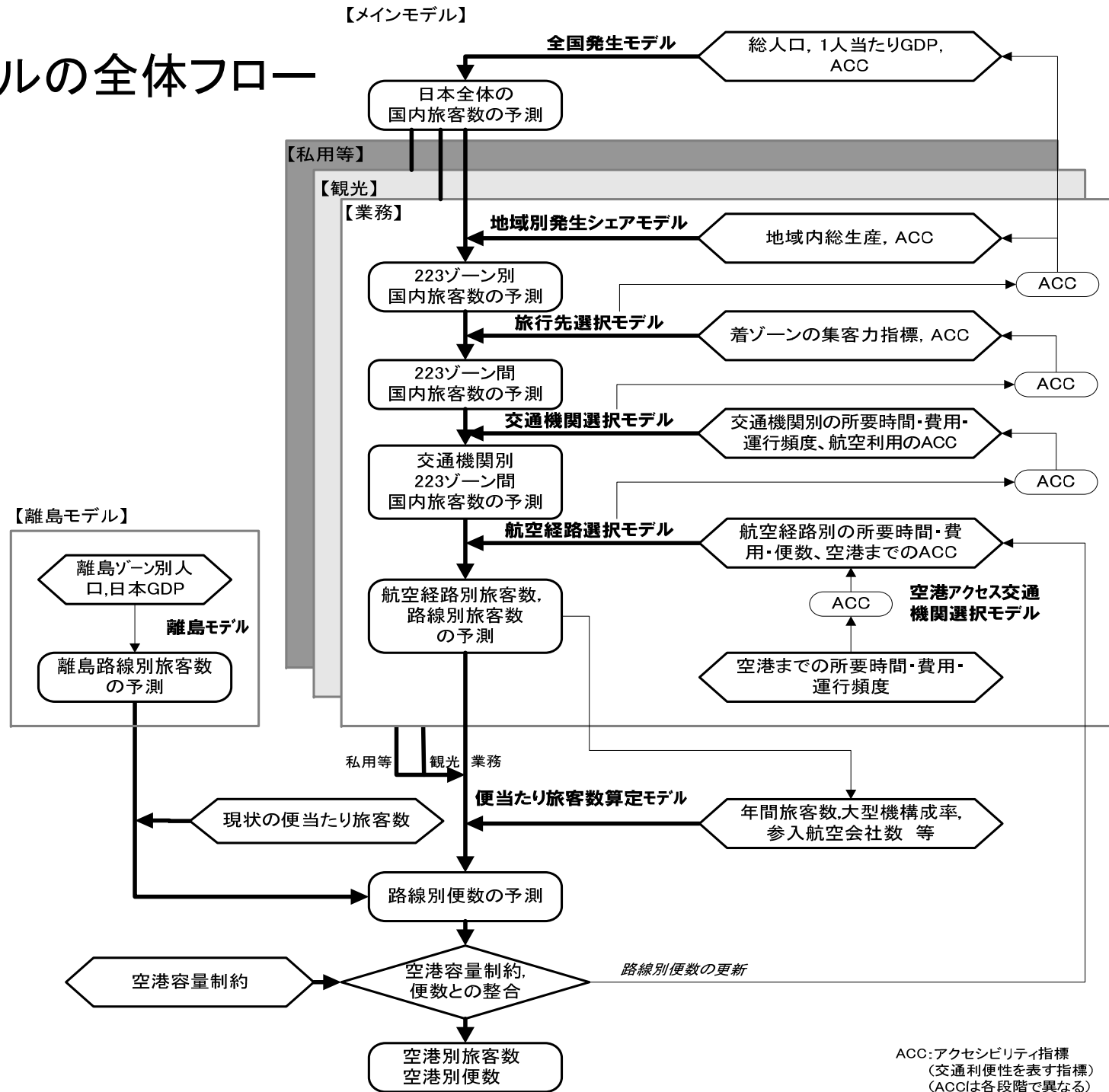
発生集中交通量 + 分布交通量(地域間交通量)



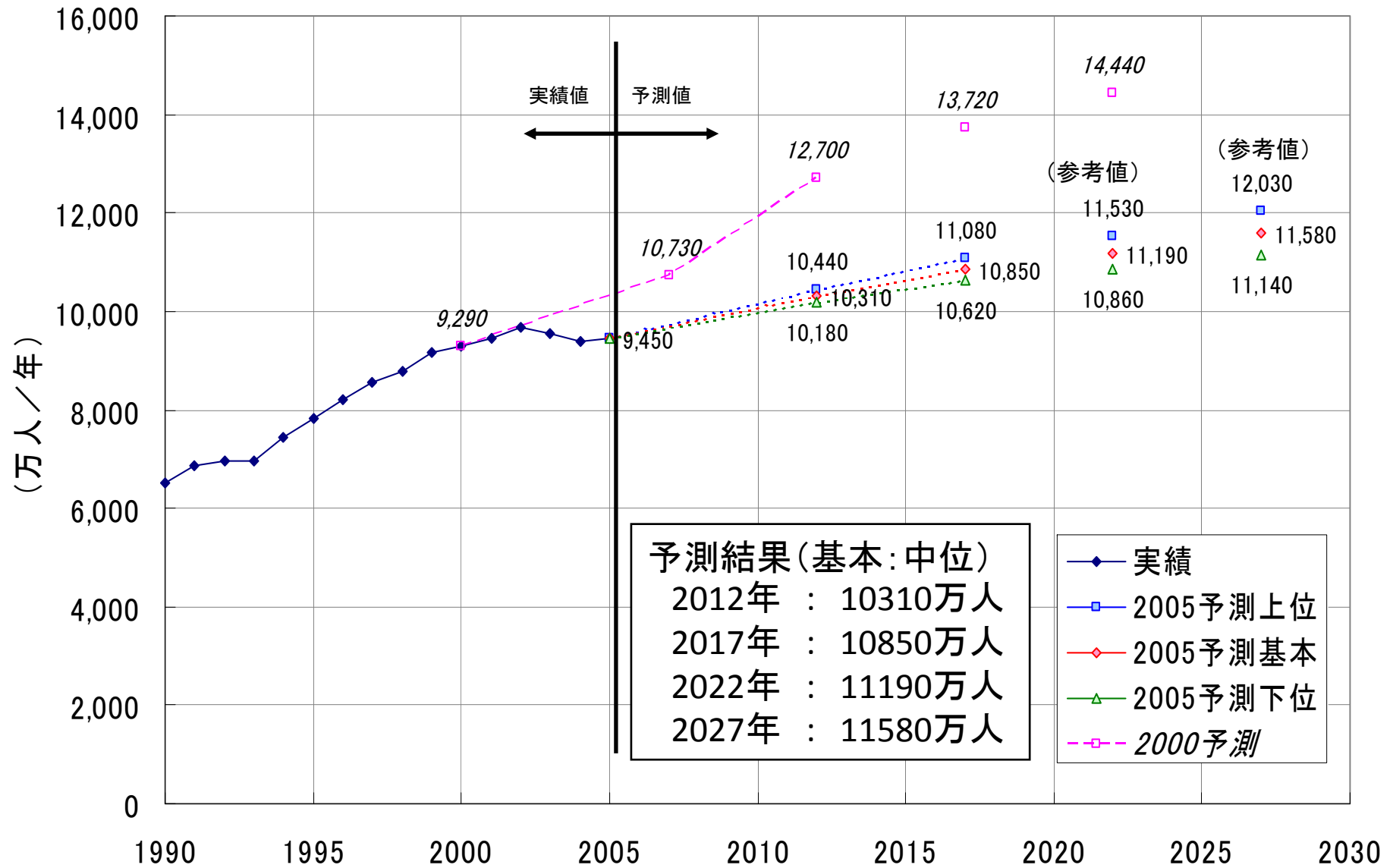
地域 i から地域 j への地域間交通量



予測モデルの全体フロー



予測結果（国内航空旅客数）



精度向上に関して残された今後の課題

データ整備に関する課題

i. 実勢運賃に関するデータの整備

割引航空運賃の利用実態が不明

現状予測における航空旅客動態調査のサンプルはわずか。

パック旅行の航空運賃分が見えず精度に限界。

運賃は需要予測上重要なファクターであり、実態把握が課題。

ii. エアラインの経営情報の整備

航空需要はエアラインがどのような路線便数を張るかに依存。

保有する輸送資源で如何に利潤を上げるかという行動原理

路線別や機材別などの経費や収入などのエアラインの運航に関するデータの整備が課題。

iii. 年齢階層別の需要データの整備

今後、高齢者が増加し、需要におけるシェア増大。

高齢者に関してはより細分化して分析する必要があるため、これらのデータ収集が課題。

iv. 東アジア等のビジネス需要データの把握

アジアとの交流が今後ますます増大する。

これら旅客の旅行目的や業務内容、頻度等の詳細データの把握が課題。

モデル構築に関する課題

i. 供給者の行動を合理的に予測するモデルの検討

航空需要はエアラインがどのような路線便数を張るかに依存。

民間事業者であるエアラインの経営情報に属する費用や価格等の利用が困難。

→ エアラインの行動原理を明示的にモデル化することが課題。

ii. 国内と国際の連携

現行では際内旅客は別個のモデルで予測。

国内国際相互の乗継ぎ旅客については国内モデルでの予測のみによる。

今後は国際旅客の方がより大きな伸びが予想される他、国際線の目的地と国内線の目的地が同じ土俵の選択肢になり得る。

→ 際内両モデルの連携が課題となっている。

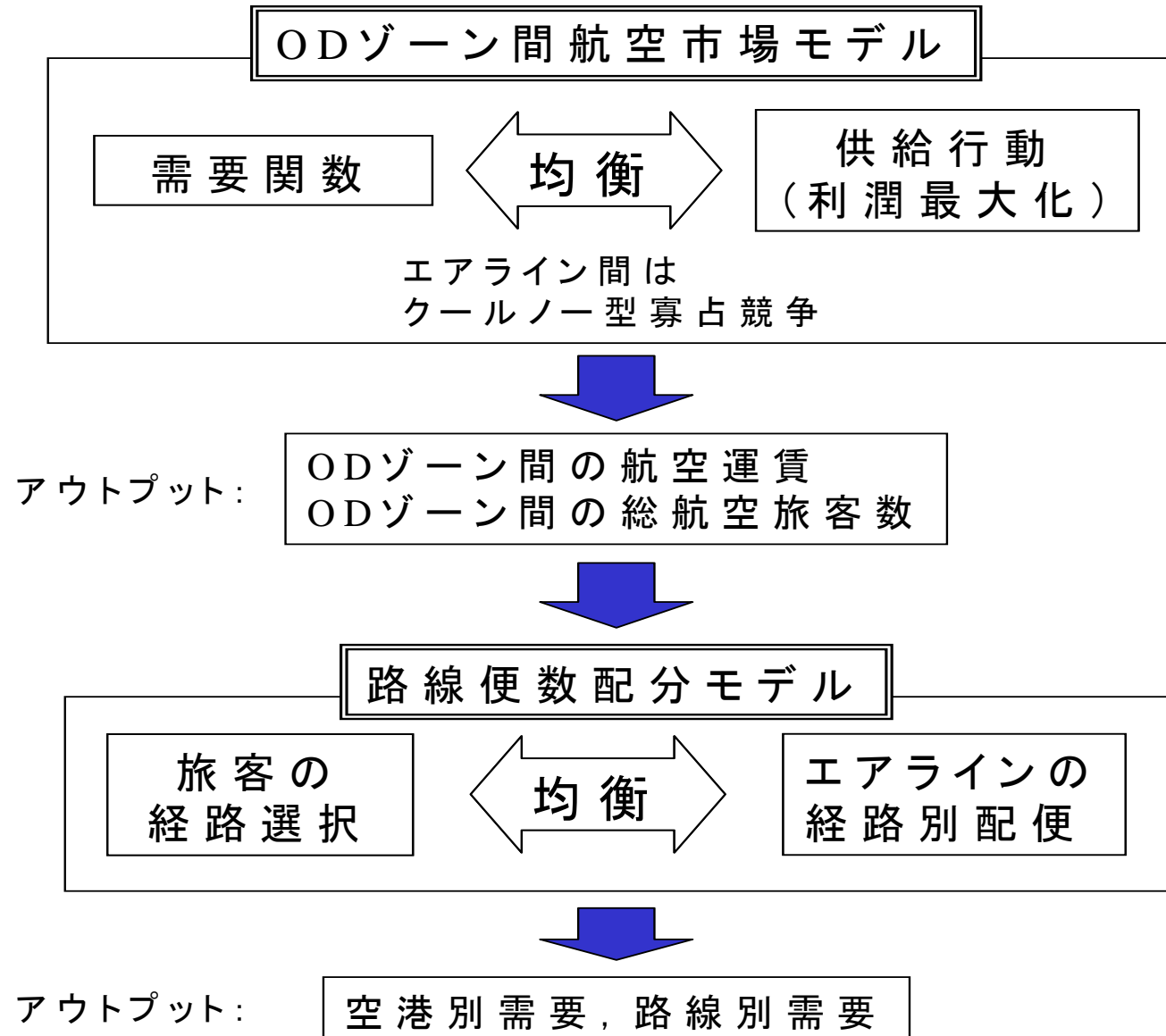
iii. 空港容量制約を明示的に考慮したモデル構築

空港の容量に制約がある現状の需要を基に経路選択モデルなどのパラメータを設定。

今後、空港容量の制約が大きく変化したときには歪みをもたらす可能性。

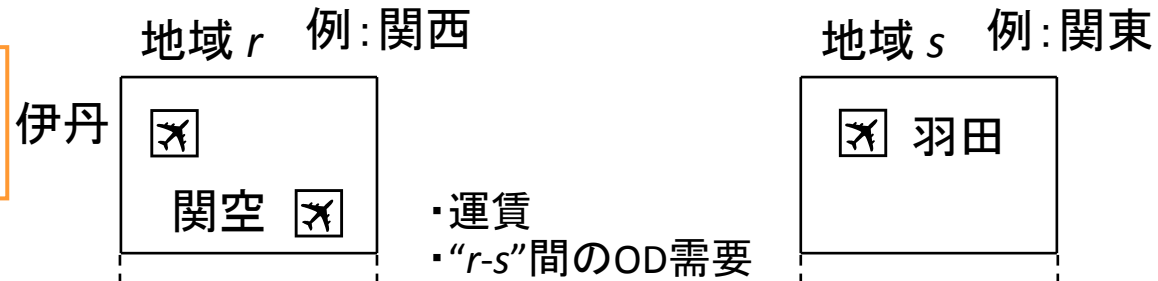
→ 制約の影響を明示的に考慮できるモデルの構築が課題。

エアラインの行動を合理的に予測するモデルの試み

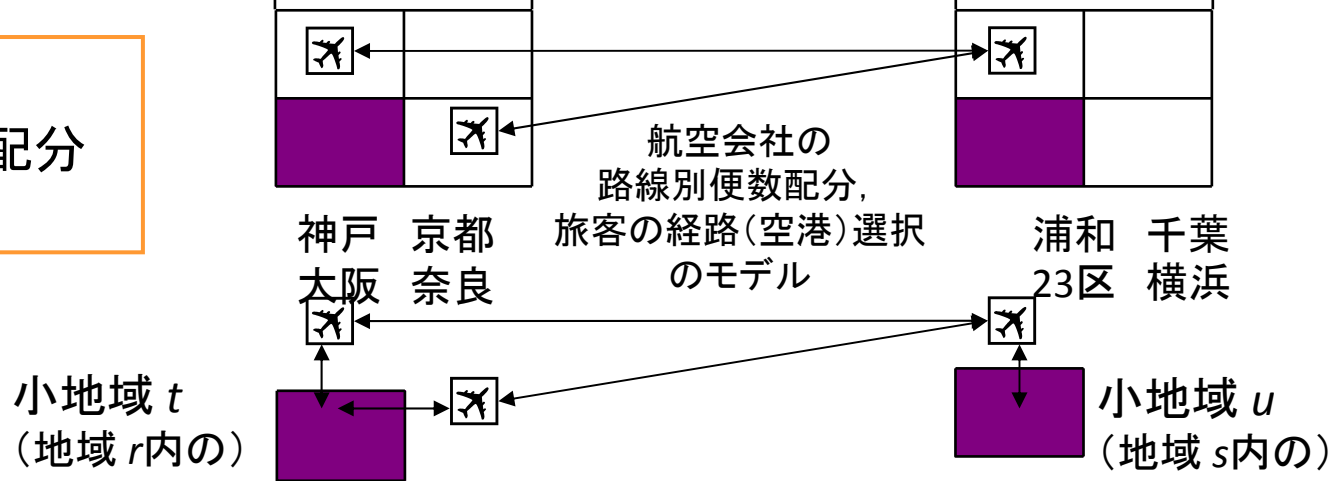


手法(モデル)の構造

第1階層:
地域間需給モデル



第2階層:
路線別便数配分
モデル



出力

- 路線便数
- 路線別旅客需要, 空港別旅客需要

第1階層：地域間需給モデル



航空輸送の特徴として寡占市場であることに着目

寡占市場の需給均衡モデル “クールノー均衡モデル”

市場に参加する各企業が他企業の産出量を所与として、自己の利潤を最大化するようにその産出量を決定するメカニズム

均衡条件の式
$$\frac{\partial p_{rs}}{\partial Q_{rs}^i} \cdot Q_{rs}^i + p_{rs} - \frac{\partial C_{rs}^i}{\partial Q_{rs}^i} = 0 \quad \forall i$$

アウトプット

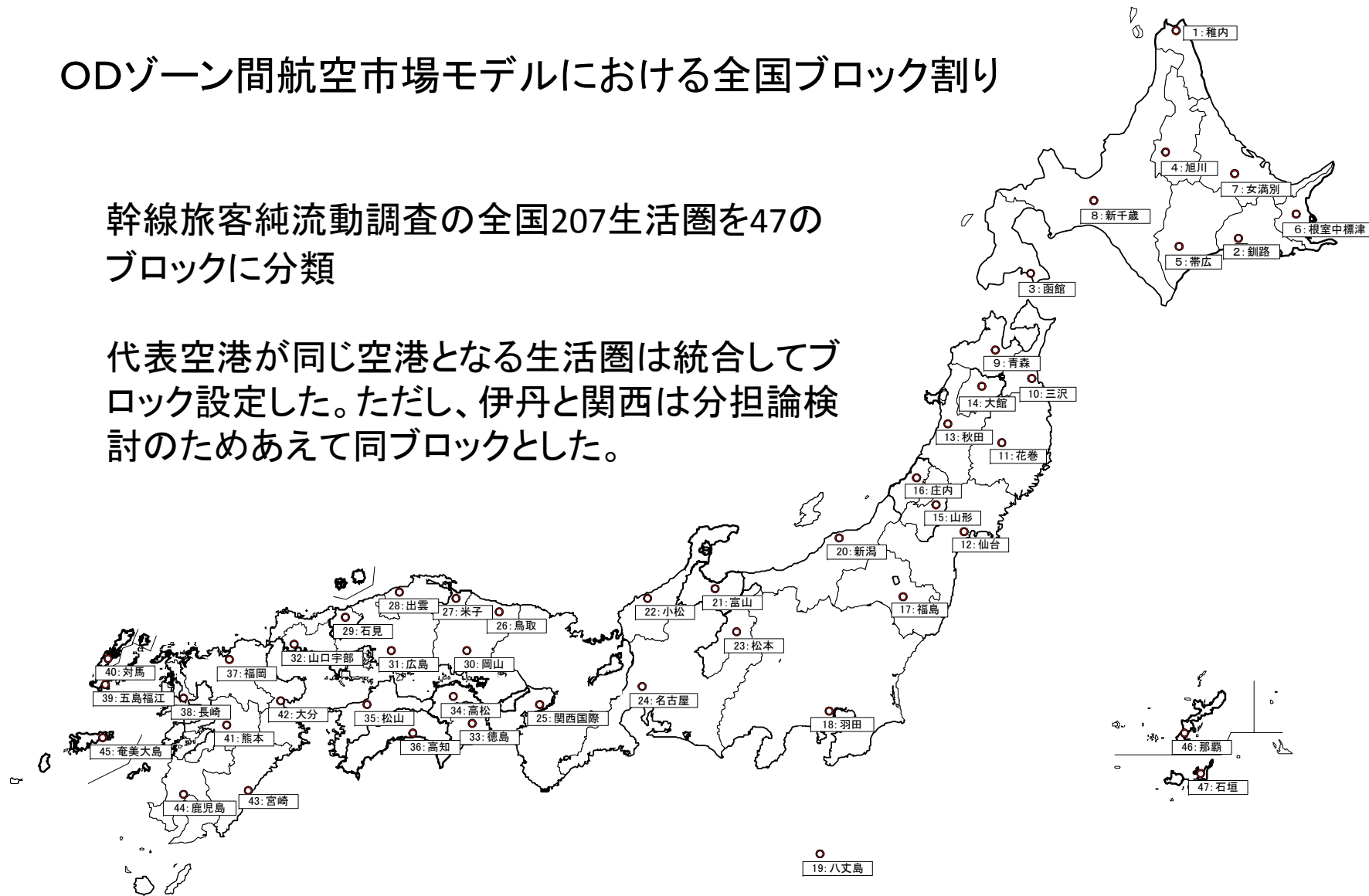
- ・航空運賃 p_{rs}
- ・“r-s”地域間のOD需要 Q_{rs}^i

→第2階層のモデルへインプット

ODゾーン間航空市場モデルにおける全国ブロック割り

幹線旅客純流動調査の全国207生活圏を47のブロックに分類

代表空港が同じ空港となる生活圏は統合してブロック設定した。ただし、伊丹と関西は分担論検討のためあえて同ブロックとした。



需要関数

グラビティ型の関数形を用いて推定した結果下記の式を採択

$$\begin{aligned}\ln OD_{rs} = & \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{time}_{rs}^{\text{air}}) + \beta_2 \ln(p_{rs}^{\text{air}}) \\ & + \beta_3 \ln(\text{time}_{rs}^{\text{rail}}) + \beta_4 \ln(Y_r) \\ & + \beta_5 \ln(Y_s)\end{aligned}$$

$\text{time}_{rs}^{\text{air}}$: ゾーンrs間の航空ラインホール時間

p_{rs}^{air} : ゾーンrs間の航空運賃

$\text{time}_{rs}^{\text{rail}}$: ゾーンrs間の鉄道所要時間

Y_r : 発ゾーンGRP(1人あたりGRP×人口)

Y_s : 着ゾーンGRP(1人あたりGRP×人口)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$: パラメータ

OD需要関数のパラメータ推定結果

Adjusted R ²		0.6246
サンプル数		338
	パラメータ値	t値
定数項	β_0	-11.716 -4.13
航空ラインホール時間（分）	β_1	-1.587 -2.70
航空ラインホール費用（円）	β_2	-0.849 -1.55
鉄道所要時間（分）	β_3	1.745 6.77
発地GRP（百万円）	β_4	0.894 19.60
着地GRP（百万円）	β_5	0.899 19.87

費用関数

費用関数については、供給量のみ関数ではなく、他の外生変数(公租公課その他)の関数と考えるが、本研究では、単純化のため、費用関数について航空会社別に違いはないと仮定し、また公租公課は輸送量に応じた可変費に内包されたものと見なし、以下のように線形関数として設定した。費用関数の精緻化については今後の課題とする。

$$C_{rs}^m(q_{rs}^m) = \alpha \times q_{rs}^m$$

大手航空会社3社(JAL, ANA, JAS)の2000年度における財務データ(航空統計要覧)より、パラメータを

$\alpha = 9.1015$ 円/人キロ(1995年価格)

と設定した。

(旅客数に直接影響するような費用を便宜的に拾ったもので航空会社の運航費用を表すものではないことに注意)

利潤最大化

各エアラインは、クールノー的寡占市場において、以下のように利潤最大化行動を行うと考える。

$$\max \pi_{rs}^m (q_{rs}^m) = p_{rs}^{air} (OD_{rs}) \cdot q_{rs}^m - C_{rs}^m (q_{rs}^m) \quad (2)$$

ここで、

q_{rs}^m : ODゾーンrs間におけるエアラインmの供給(=需要)

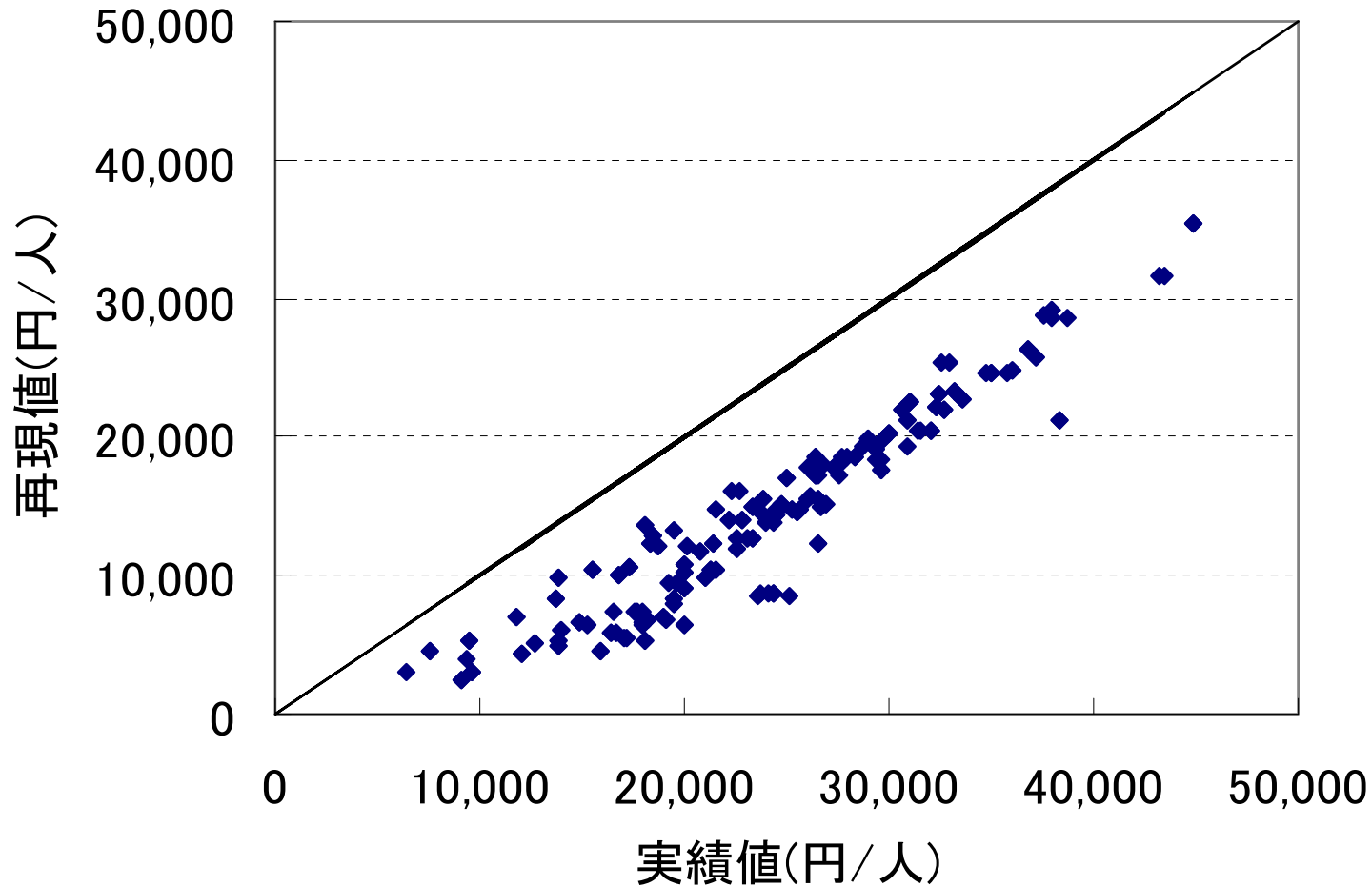
$C_{rs}^m (q_{rs}^m)$: ODゾーンrs間におけるエアラインmの費用関数である。

また、 $OD_{rs} = \sum_m q_{rs}^m$ である。

$$\frac{\partial p_{rs}^{air}}{\partial q_{rs}^m} \cdot q_{rs}^m + p_{rs}^{air} - \frac{\partial C_{rs}^m}{\partial q_{rs}^m} = 0 \quad \forall m \in M$$

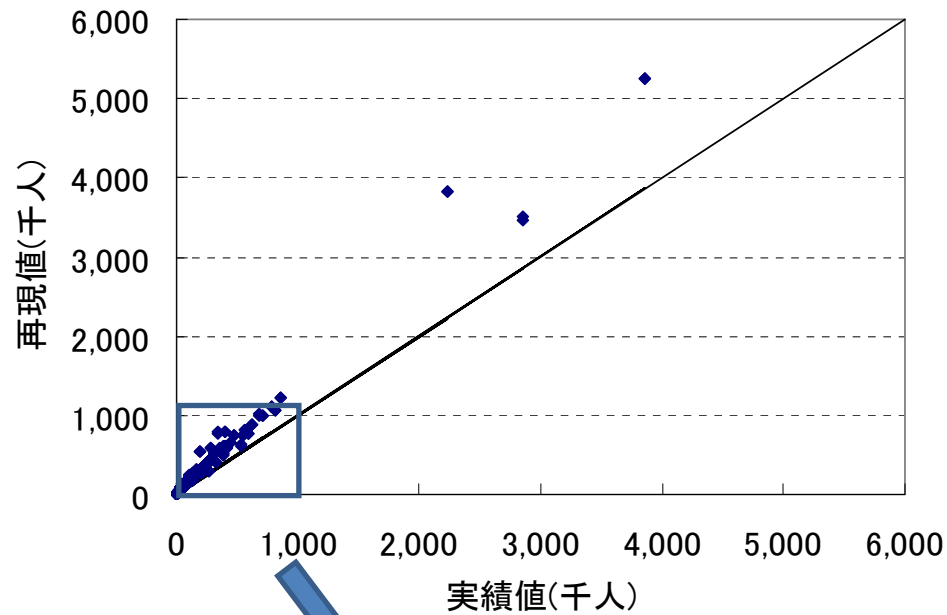
これは全エアラインの供給量の関すとなり、エアラインの数だけの連立方程式を解くと均衡需要と均衡価格が得られる。

航空運賃の現況再現性



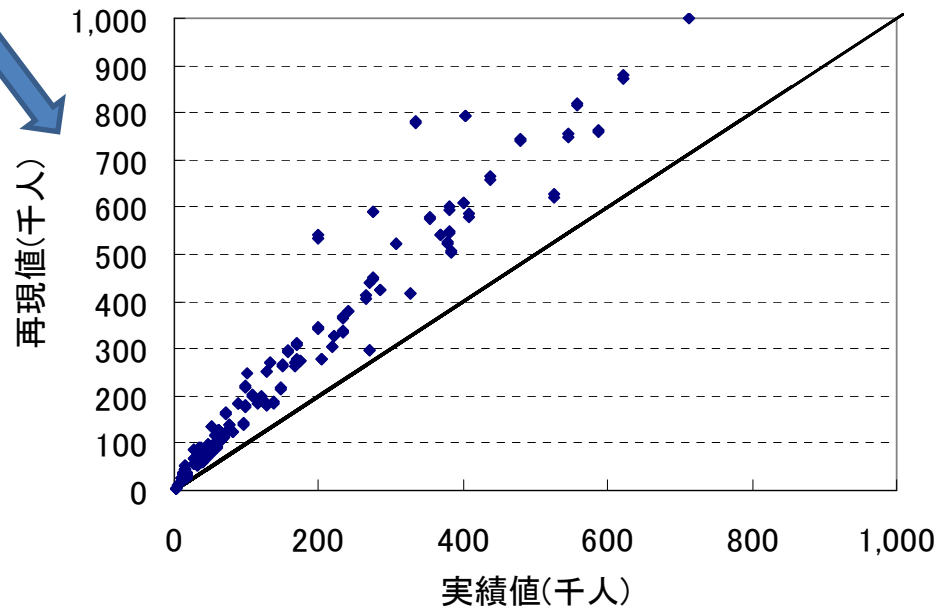
航空運賃については、全体的に過小推計(図-3)となっている。このことについて、運賃の実績値が正規運賃であるのに対し、均衡解で算出される運賃はエアラインの実際の限界費用に基づく値であり、実勢運賃に近い挙動を示していることが要因の1つとして考えられる。

航空需要量の現況再現性



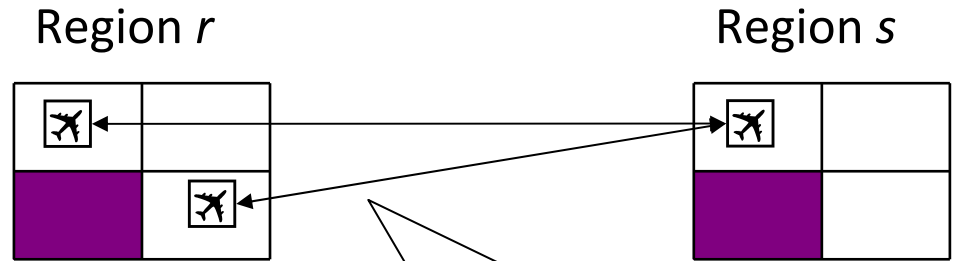
航空需要量については、運賃の再現誤差と関連して、全体的に過大推計傾向となっている。

拡大図



第2階層: 路線別便数配分モデル

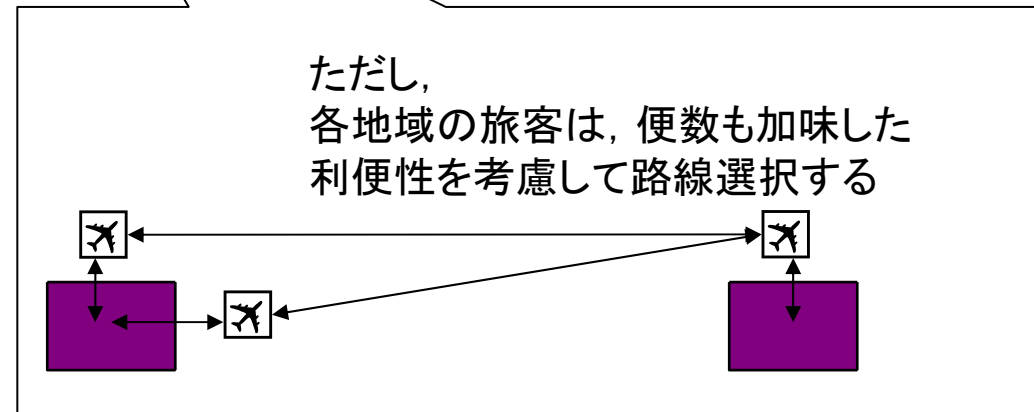
航空会社による路線別便数最適配分モデル



各路線のロードファクターが最適になるように
路線毎の便数を決定する

ここで考慮されていること

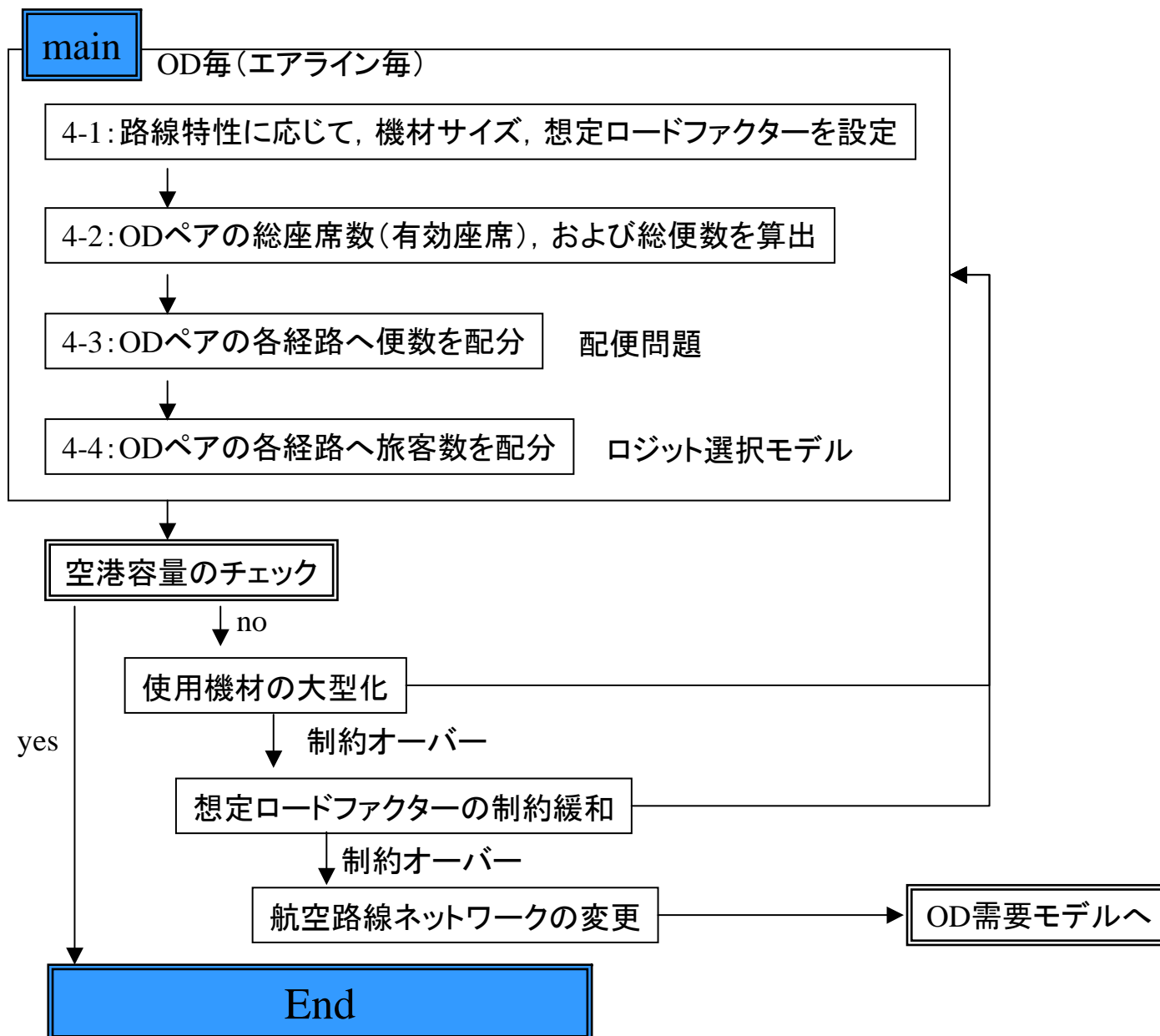
- 路線の運航機材 (座席数)
- 発着容量制約
- 空港アクセス利便性



ただし、
各地域の旅客は、便数も加味した
利便性を考慮して路線選択する

- アクセスが良い空港
- 多頻度路線の経路の方が魅力的

路線便数配分モデルのフロー



エアラインの便数配分は、以下のように定式化される。

$$\min_{Freq_{rs}^{i1}, Freq_{rs}^{i2}, \dots, Freq_{rs}^{iK}} \sum_k (Capa_{rs}^{ik} \cdot Freq_{rs}^{ik} - D_{rs}^{ik})^2$$

subject to

$$\sum_{k \in K} D_{rs}^{ik} = \overline{q_{rs}^i}$$

$$Capa_{rs}^{ik} \cdot Freq_{rs}^{ik} - D_{rs}^{ik} \geq 0 \quad (k = 1, \dots, K)$$

$$Capa_{rs}^{ik} = Seat_{rs}^{ik} \cdot LF_{rs}^{ik}$$

$Capa_{rs}^{ik}$: rs間のエアライン*i*の航空経路*k*の機材容量

$Freq_{rs}^{ik}$: rs間のエアライン*i*の経路*k*の便数 D_{rs}^{ik} : 同旅客数

$\overline{q_{rs}^i}$: rs間のエアライン*i*の総旅客数(先決)

$Seat_{rs}^{ik}$: rs間のエアライン*i*の経路*k*の機材サイズ(座席数)

LF_{rs}^{ik} : rs間のエアライン*i*の経路*k*の目標ロードファクター

経路配分は以下の式により表される.

$$P_{rrss}^{ik} = \frac{\exp(V_{-k_{rrss}^{ik}})}{\sum_{k \in K} \exp(V_{-k_{rrss}^{ik}})}$$

$$V_{-k_{rrss}^{ik}} = \sum_{n \in N} (\phi_n \cdot X_{rrss_n}^{ik})$$

$$D_{rs}^{ik} = \sum_{rr \in r} \sum_{ss \in s} (D_{rrss}^i \cdot P_{rrss}^{ik})$$

rr : ODゾーンrの中に含まれる生活圏ゾーン

ss : ODゾーンsの中に含まれる生活圏ゾーン

P_{rrss}^{ik} : rrss間のエアラインiの経路kに関する選択確率

$V_{-k_{rrss}^{ik}}$: rrss間のエアラインiの経路kに関する効用関数

$X_{rrss_n}^{ik}$: 上記効用関数におけるn番目の説明変数

D_{rrss}^i : rrss間においてエアラインiを利用する旅客数

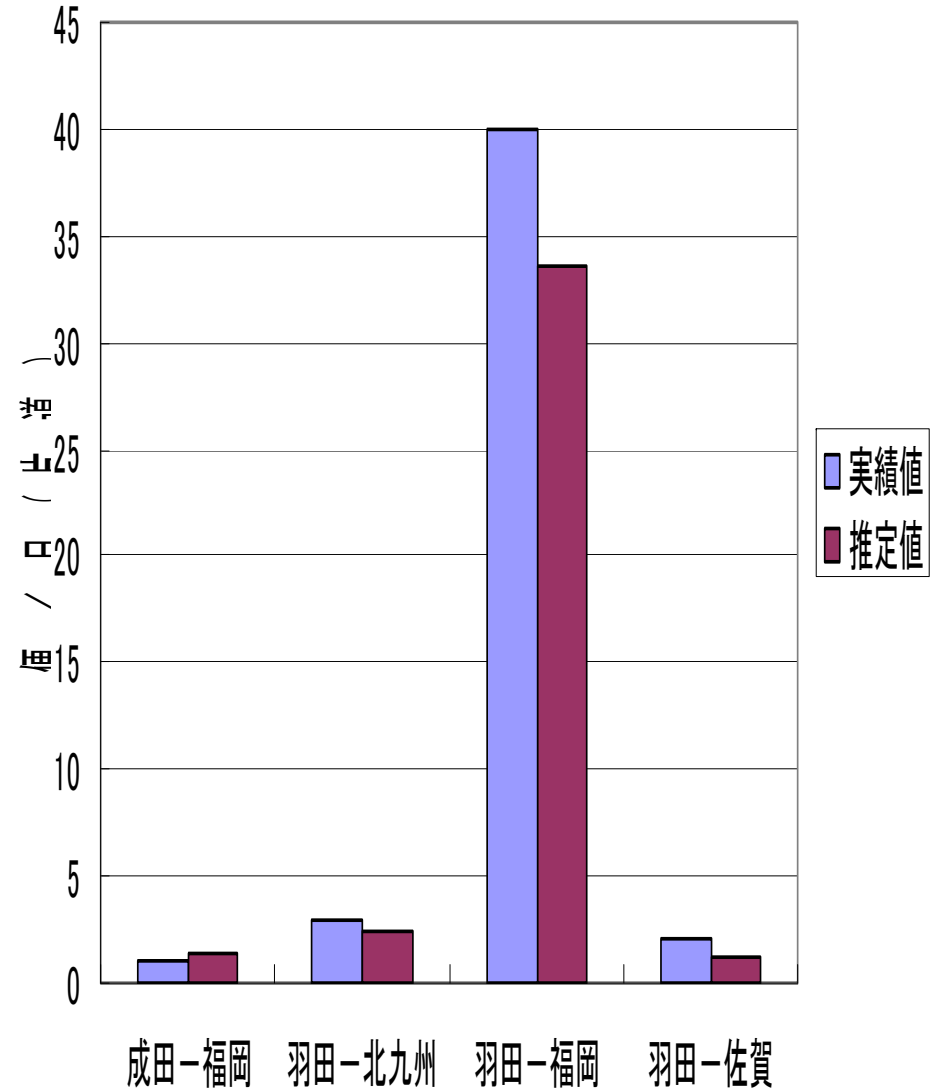
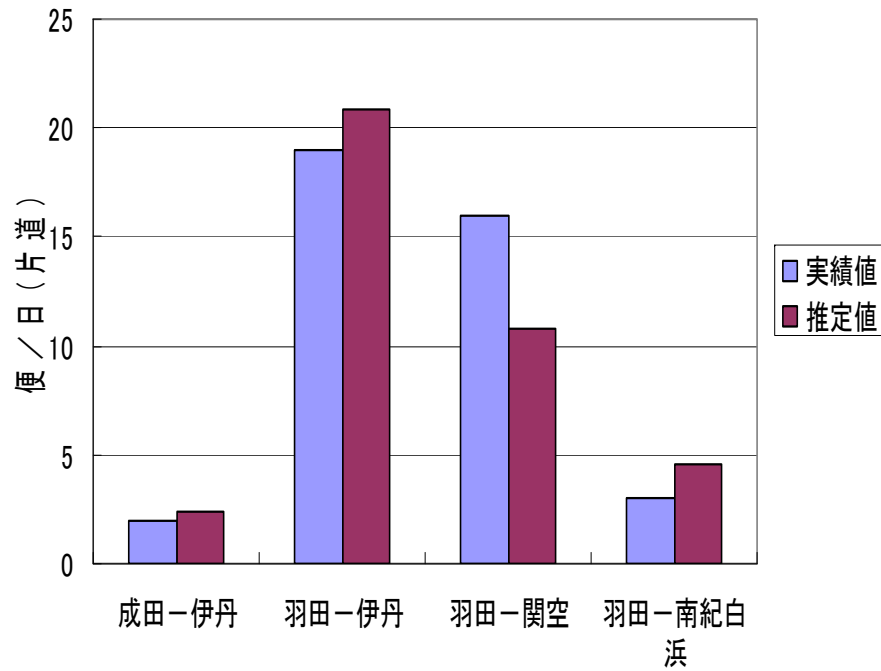
ϕ_n : パラメータ

ただし $D_{rs}^i = \sum_{rr \in r} \sum_{ss \in s} D_{rrss}^i$

航空経路配分モデルのパラメータと再現性

	業務目的	観光・私用等目的
航空ラインホ-ル時間 (分)	-2.35533E-02 -8.3	-1.72316E-02 -6.6
航空ラインホ-ル費用 (円)	-2.94753E-04 -2.4	-2.67557E-04 -2.1
ln [路線運航頻度 (便 /日)]	7.52284E-01 9.2	7.72880E-01 4.1
滞在可能時間 (分)	1.88510E-03 4.8	1.81855E-03 6.8
アクセシビリティ指標	7.59895E-01 19.8	7.54901E-01 14.9
尤度比	0.388	0.351
的中率 (%)	73.5	71.5
時間評価価値 (円/hr)	4795	3864
サンプル数	3297	3191

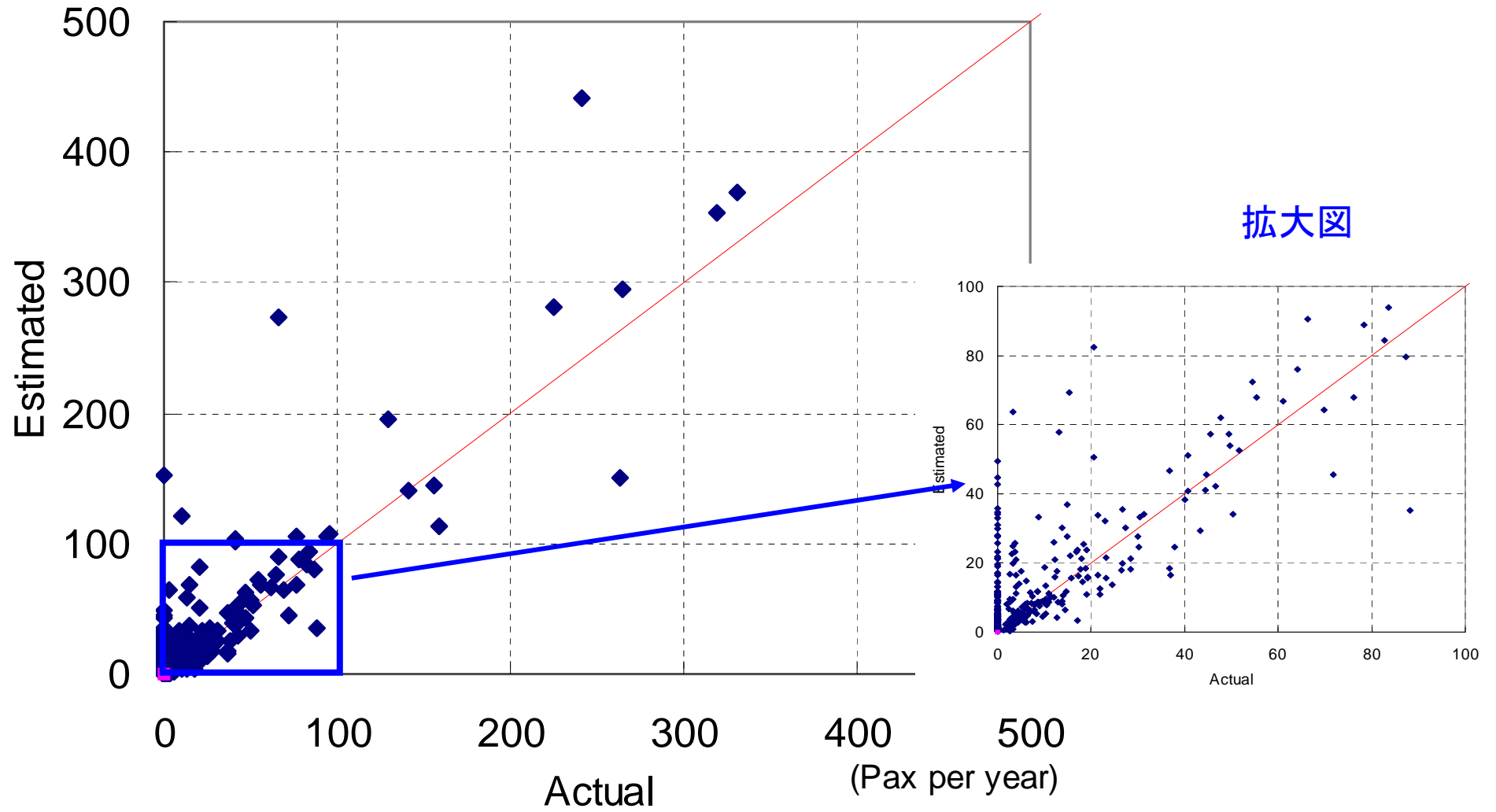
路線便数配分モデルの現況再現性



全体の傾向は表現できていると考えられる。羽田-関空が過小推計となっている要因の一つとしては、海外便への乗換客の特性が反映されていないことが考えられる。

現況再現性

地域ペア別路線別旅客需要



本モデルあるいは本モデルを発展させることにより評価可能な政策や状況の変化等については、以下のようなものが挙げられる。

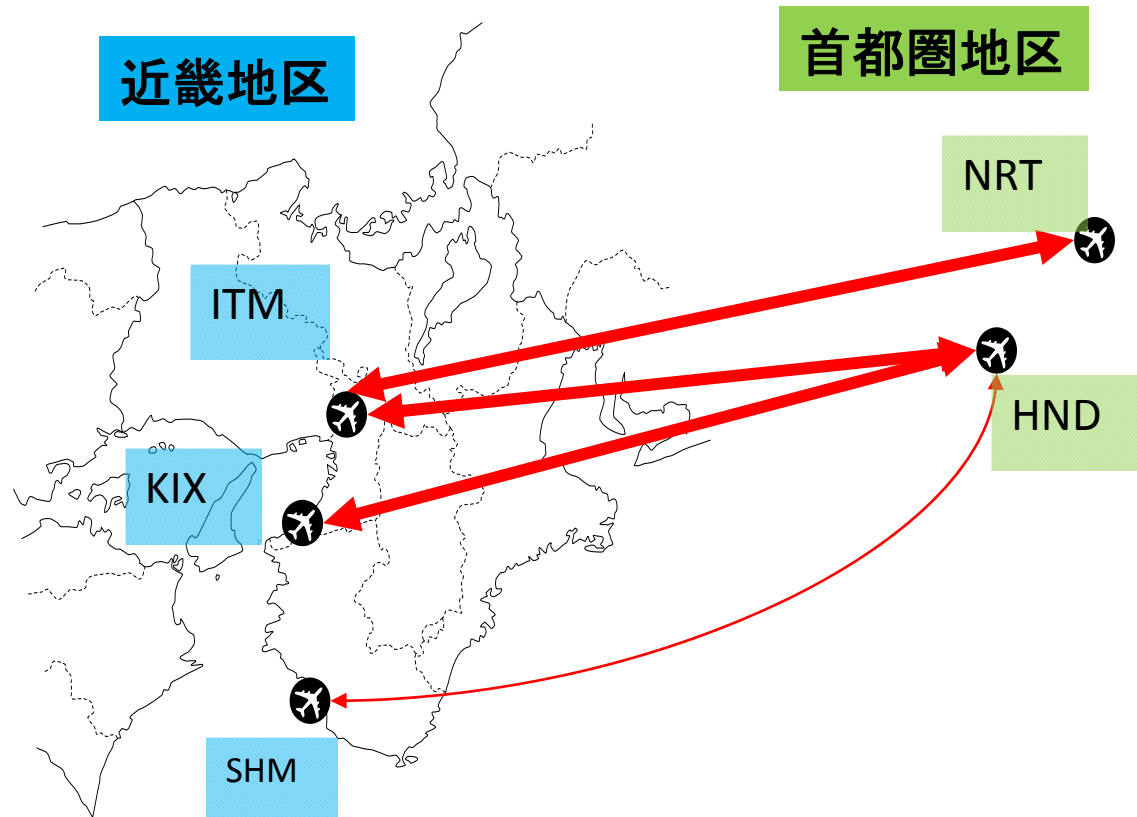
- ・着陸料の値上げ・値下げの影響について
ODゾーン間航空市場モデルにおける費用関数のパラメータを変化させることにより、評価することが可能である。
- ・航空燃油税などの値上げ・値下げの影響について
同上
- ・エアラインの行動のうち機材サイズの変化について
路線便数配分モデルにおいて機材サイズの設定を変えることにより、分析可能である。
- ・新規路線開設による影響について
路線便数配分モデルにおいて前提条件となる路線を追加することにより分析することができる。
- ・ローコストキャリアの参入について
ODゾーン間航空市場モデルにおける参入社数設定の変化および費用関数の差別化により、影響を評価することができる。

関東-近畿の航空市場への適用

背景: 我が国における都市圏複数空港問題

空港配置概成後の主な課題

- ・都市圏複数空港における機能分担政策
- ・混雑空港における施策



我が国での機能分担
(裁量的規制)

スロット配分(羽田)
国内線用, 国際線用, etc.
(特定機材) 乗り入れ制限

海外での事例
経済的ルール(料金施策)

混雑税, ピークロード料金

仮説的なシナリオ

	基本ケース (Base)	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
成田-伊丹路線の 機材座席数	400	350	300	400	400	350
羽田-伊丹路線の 機材座席数	400	350	300	400	400	350
成田-伊丹路線の 便数上限制約(/日)	無制約	無制約	無制約	6	6	6
羽田-伊丹路線の 便数上限制約(/日)	無制約	無制約	無制約	18	15	15

伊丹への
大型機乗り入れ制限
を想定

伊丹空港における
容量逼迫を想定

組み合わせ

仮想的な政策シナリオ分析：
結果自体よりも、モデルでどこまでできるかの能力確認

各ケースの結果

路線別便数

↓ 小型化した路線では需要が増加(多頻度小型化になる)

	NRT-ITM	HND-ITM	HND-KIX	HND-SHM
Case 0	974	7,116	4,980	817
Case 1	1,171	9,065	3,992	816
Case 2	1,799	10,950	3,395	812
Case 3	<u>1,229</u>	<u>6,570</u>	<u>5,344</u>	814
Case 4	<u>1,593</u>	<u>5,475</u>	<u>6,102</u>	811
Case 5	2,190	5,475	6,259	809

路線別旅客数

容量制約がかかると需要も制約

	NRT-ITM	HND-ITM	HND-KIX	HND-SHM
Case 0	272,728	1,992,657	1,220,079	91,486
Case 1	286,856	2,220,906	978,113	91,385
Case 2	351,910	2,333,091	801,333	91,147
Case 3	<u>321,129</u>	<u>1,879,559</u>	<u>1,284,802</u>	91,357
Case 4	<u>390,254</u>	<u>1,665,315</u>	<u>1,429,809</u>	91,213
Case 5	467,488	1,606,575	1,411,502	91,040

ロードファクター

	NRT-ITM	HND-ITM	HND-KIX	HND-SHM
Case 0	70.0%	70.0%	70.0%	70.0%
Case 1	70.0%	70.0%	70.0%	70.0%
Case 2	65.2%	71.0%	67.4%	70.1%
Case 3	65.3%	71.5%	68.7%	70.1%
Case 4	61.2%	76.0%	67.0%	70.3%
Case 5	61.0%	83.8%	64.4%	70.3%

おわりに

本モデルの現状

複数空港が近接する地域において、どの地域の旅客がどの空港(路線)を利用するか、航空会社がどの路線にどれだけの便数を供給するかを推定可能な手法を開発した。仮説的なシナリオ分析で、モデルのテストを実施。

全国の航空需要予測モデルに組み込む形にはなっておらず、部分的あるいは補完的に制約条件の影響を分析するツールとしての利用が考えられる。政策評価のための検討材料として政策適用後の航空市場の状況についてこれまで以上の情報を提供することができる仕組みとなっはいるが、精度の面では課題も多い。

今後の課題

OD需要関数等の各モデルの精度向上が挙げられる。また、路線便数配分モデルにおける目標ロードファクター等、前提条件の設定方法についても今後検討する必要がある。